［第１２回目］物質波（電子の波動性）

≪考える内容≫

・　電子の波動性について

≪今日の授業の目標≫

◎電子波（**物質波**）

電子の運動量 $p=mv$［kg m/s］と波長 λ［m］の間の関係は,

$$\boxed{p=\frac{h}{\lambda}}$$

$h = 6.6\times10^{-34}$ J•s　：プランク定数

（$\mathrm{J\cdot s = N\cdot m\cdot s = kg\,m/s^2\cdot m\cdot s = kg\,m/s\cdot m}$）

λ　：物質波の波長（ド･ブロイ波長）［m］

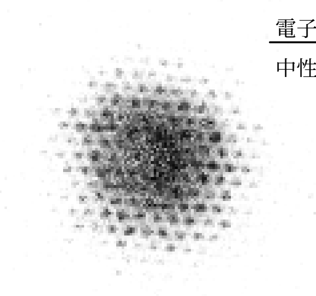
電子のエネルギーE［J］と振動数 ν［Hz］の間の関係は,

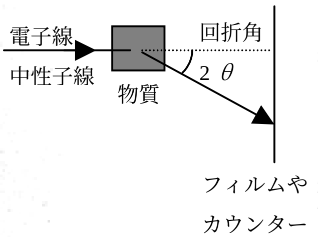
$$\boxed{E = h\nu}$$

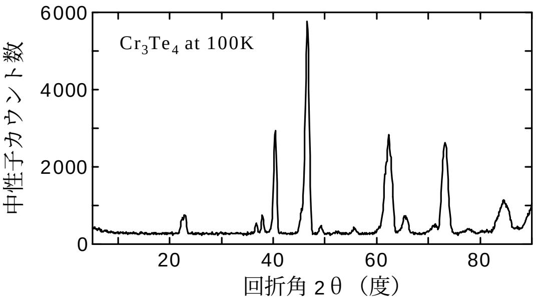
ν　：物質波の振動数　［Hz］＝［s^{-1}］

◎　物質波の例

・雲母の結晶による電子線回折（菊地正士）　・中性子回折（測定は原科ら）







電子の粒子性：微弱な電子ビームを使って，回折パターンを写真フィルムやカウンターで観測すると，電子は１個，２個と数えられる。

次回予定［第１３回目］水素原子のボーア･モデル（教科書 170 ページまで）

＊＊

レポート問題　第１２回目（**右側の半分の解答用紙を切り取って提出しなさい**）

数値で計算する問題は，答えにも必ず単位をつけること！

問１　教科書の問6.5を答えよ。

問２　金属中の自由電子は、量子力学的効果により、最大で数 eV 程度のエネルギーをもって運動している。電子のエネルギーを $E = 1$ eV としてを電子波の波長λを求めよ。［教科書の問6.5の答えを参考にせよ］

問３　平均原子間隔が $l = 1\times10^{-6}$ m である希薄な^{87}Rb（ルビジウム）原子の気体を考える。(^{87}Rb 原子の質量 m ＝ 1.44×10^{-25} kg）超低温で，物質波の波長と原子間隔がほぼ等しくなると，量子力学的効果により，超流動になる。ここで，$k = 1.38\times10^{-23}$ J/K はボルツマン定数

①　絶対温度 $T = 3.00\times10^{-8}$ K のときの^{87}Rb 気体の熱運動の平均エネルギー$E=\dfrac{3}{2}kT$ を求めよ。

②　①の E を用い $E=\dfrac{1}{2}mv^2$ から速さ v を求めよ。

③　②の v を用いて，^{87}Rb 原子の平均の運動量 mv を求めよ。

④　③の mv から物質波の波長λを求め，l と比べよ。［教科書 161 ページの式（6.11）を使う］

第１２回目

解答用紙　（　　曜　　限）学籍番号＿＿＿＿＿＿＿＿＿　　氏名＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

数値で計算する問題は，答えにも必ず単位をつけること！

問１

問２　$E=\frac{1}{2}mv^2$ より $p=mv=\sqrt{2mE}$ をえる。

単位を変換して $E=\frac{1}{2}mv^2$ =1 eV=　　　　　　　　　J を用いて、

$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mE}}=$　　　　　　　　　　　　［　］

この自由電子の波長をフェルミ波長という。この波長が結晶の原子間隔程度であることが、金属の様々な性質を理解する上で重要である。

問３　（原子番号 37 番の ^{87}Rb 原子のような重い粒子でも波の性質をもつこと）

① ボルツマン定数 k =1.38×10^{-23} J/K だから、絶対温度 $T=3.00\times10^{-8}$ K のとき、

熱運動の平均エネルギー $E=\frac{3}{2}kT$ =　　　　　　　　　　　［J］

② $E=\frac{1}{2}mv^2$ から $v=\sqrt{\frac{2E}{m}}=$　　　　　　　　　　［m/s］

③ 運動量　$p=mv=$　　　　　　　　　　［kg･m/s］

④ 波長　$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}=$　　　　　　　　　　［m］

λ は ^{87}Rb 気体の平均間隔 $l=1\times10^{-6}$ m = 1 μm と比べて 非常に大きい･同じ程度･非常に小さい 。

このように，熱運動の運動量から決まる物質波の波長（熱ド･ブロイ波長）が、原子の平均間隔 l 程度になると，量子力学的効果が顕著になる。（量子気体といい，もはや $pV=nRT$ は成り立たない。）このような超低温で ^{87}Rb 気体はボーズ･アインシュタイン凝縮を起こし、超流動状態になる。（2001 年のノーベル物理学賞）

☆このレポートをやるのに　＿＿＿時間＿＿＿分，

それ以外に基礎物理Ⅱの予習復習を　＿＿＿時間＿＿＿分した。